Il bus EISA

Il bus EISA è il dispositivo che ha aperto la strada alla crescita dell'industria dei personal computer, poiché ha consentito il mantenimento delle piattaforme standard dei PC e contemporaneamente ha permesso ai costruttori di continuare per la loro strada nel tentativo di migliorare e implementare i nuovi prodotti.

Il *bus EISA* è un'estensione del bus *ISA (Industry Standard Architecture)*, che fece la sua comparsa nel 1978, ed è formato da tre elementi di base: *una famiglia di microprocessori standard,* che rappresenta il motore del PC, *un sistema operativo prototipo,* costituito dal software che controlla e gestisce le funzioni di base del PC, e infine un *bus di ingresso/uscita* (slot di espansione), tramite il quale vengono scambiate le informazioni con il PC; ovviamente questo bus è di tipo bidirezionale. Il progenitore del bus

Il bus EISA è un'estensione del bus ISA (Industry Standard Architecture)

Scheda multifunzioni con bus ISA

Con la comparsa degli AT all'architettura precedente sono stati aggiunti degli slot di espansione a 16 bit, con l'indubbio vantaggio per gli utenti di poter ottenere un miglior rendimento dalla macchina utilizzando schede a 16 bit. Inoltre, in queste nuove schede madri AT era possibile utilizzare anche le schede a 8 bit; infatti, per ottenere uno slot a 16 bit non si fece altro che aggiungere uno slot di ulteriori 8 bit a quello già presente di 8 bit. In questo modo negli AT era possibile operare contemporaneamente con schede da 8 e da 16 bit.

La caratteristica più importante di questi nuovi dispositivi era costituita dalla compatibilità di tutti i nuovi prodotti immessi in commercio con le piattaforme esistenti fino a quel momento. Ciò consentiva, e consente, agli utenti di poter aggiornare e potenziare il proprio personal in modo graduale e costante, senza necessariamente dover sostituire tutta la macchina per ottenere prestazioni migliori.

Nonostante tutto ciò, e nonostante il mercato mettesse a disposizione degli utenti calcolatori con bus a 8 e 16 bit, migliaia di applicazioni software, centinaia di schede hardware, e un numero di periferiche più che notevole, la IBM decise di abbandonare questo tipo di architettura standardizzata per passare ad una architettura personalizzata, introducendo il *bus MicroChannel*.

In effetti esisteva già un'altra architettura molto diffusa diversa da quella standard, l'architettura proposta da *Macintosh*, anche se quella più venduta e diffusa tra gli utenti di PC era quella dello standard IBM.

Attualmente, grazie ad un recente accordo IBM-Microsoft-Macintosh, è stato deciso di uniformare e rendere compatibili tra di loro queste architetture al fine di ottenere un'unico standard mondiale che permettesse a queste aziende di ottenere il monopolio del mercato.

Questa decisione spiega e giustifica la comparsa del bus *EISA (Extended Industry Standard Architecture)* a 32 bit.

Questo nuovo bus consente di gestire nello stesso spazio di tempo una quantità di dati molto più elevata rispetto ai bus tradizionali. Di conseguen-

standard è stato senza dubbio il PC IBM, composto dal microprocessore 8088 Intel e dalla prima versione del sistema operativo Microsoft MS-DOS (versione 1.0).

Lo sviluppo tecnologico provoco anche l'evoluzione dello standard. La famiglia Intel si arricchì dell'8086, un microprocessore più veloce rispetto al precedente, seguito quasi immediatamente dall'80286, un microprocessore a 16 bit, e successivamente dai microprocessori a 32 bit chiamati 80386, 80486, ecc.

Contemporaneamente sono state prodotte nuove versioni del sistema operativo MS-DOS, che si adattavano di volta in volta alle caratteristiche dei nuovi microprocessori consentendo di sfruttare le maggiori velocità e prestazioni degli stessi.

Gli utenti di bus a 8 e 16 bit hanno a loro disposizione migliaia di applicazioni software, centinaia di schede, e moltissime periferiche

Grazie alla flessibilità di queste apparecchiature altre industrie hanno potuto sviluppare nuovi sistemi operativi, quali lo Xenix e l'OS/2, che hanno permesso agli utenti l'accesso ad una grande quantità e varietà di applicazioni senza dover cambiare la piattaforma hardware. Gli slot di espansione a 8 bit sono stati utilizzati per il collegamento di tutte le schede addizionali, comprese quelle per il controllo del monitor, delle stampanti, degli hard disk, dei disk drive, le schede di comunicazione e quelle per la memoria aggiuntiva.

za, le nuove generazioni di dispositivi richiedono rapporti di velocità superiori rispetto ai precedenti, ed è appunto con questi che si può apprezzare l'effettiva maggiore velocità di queste schede. Questi nuovi dispositivi vengono normalmente utilizzati nel campo delle comunicazioni e dei sistemi multiprocesso, nei quali la gestione è affidata a più processori.
Il bus EISA consente di gestire indirizzi a 32 bit e estensioni del bus dati che supportano capacità di memoria superiori a 16 Mbyte. Inoltre, permette un accesso diretto alla memoria a 32 bit e consente l'utilizzo del bus master. Malgrado ciò, garantisce la piena compatibilità con le schede progettate per le generazioni precedenti di PC dotati di bus ISA e bus PC.
La compatibilità con i bus a 8 e 16 bit è stata ottenuta aggiungendo uno slot di espansione allo slot a 16 bit per creare quello a 32 bit, come anni prima era stato aggiunto uno slot al bus a 8 bit per ottenere un bus a 16 bit compatibile.

CARATTERISTICHE DEL BUS EISA

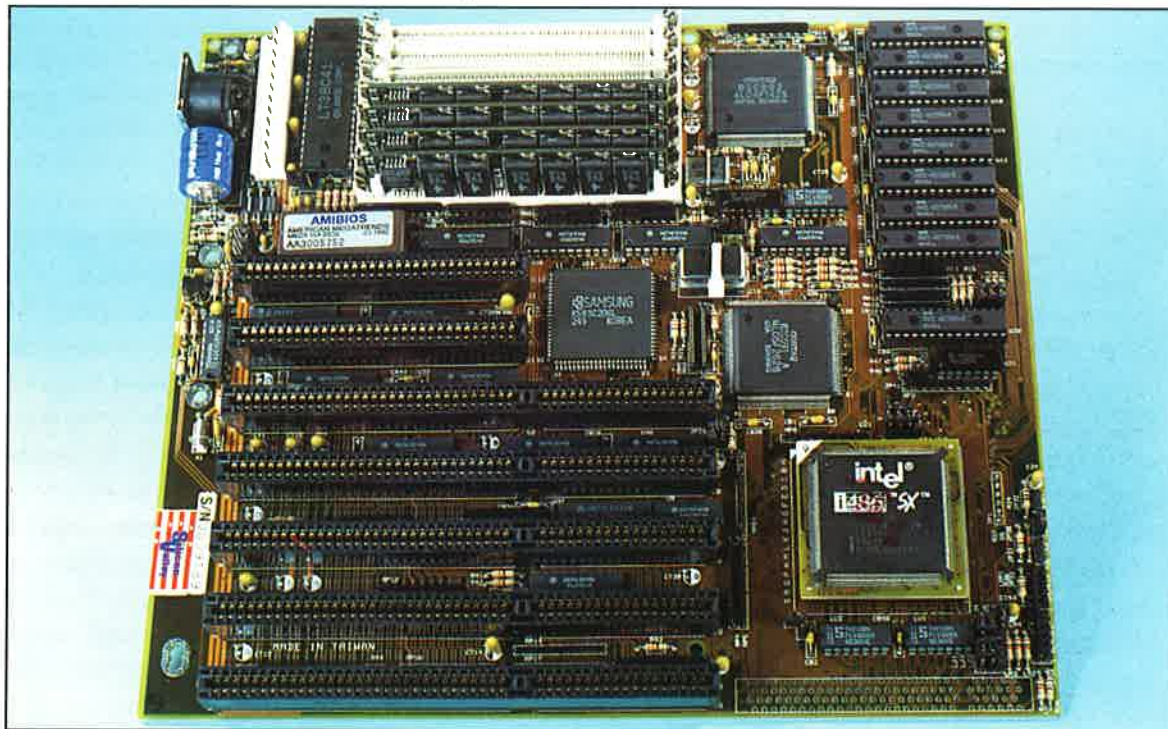
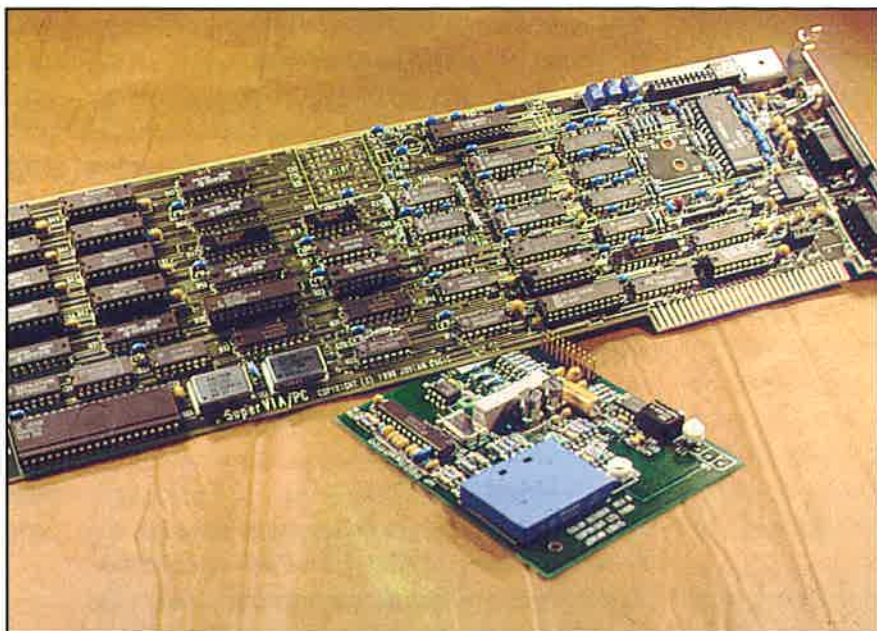
Una caratteristica essenziale del bus EISA è che il microprocessore centrale o qualsiasi altro dispositivo master del bus può accedere alla memoria o a una periferica di sistema anche se le dimensioni dei bus sono tra di loro diverse.
Il controller del bus EISA può adattare gli accessi che provengono dalla CPU, da un dispositivo EISA master a 16 o 32 bit, oppure da un dispositivo master del bus ISA, per una qualunque delle cinque entità di tipo secondarie (slave):
- *secondario EISA a 32 bit,*
- *secondario EISA a 16 bit con possibilità di treni di impulsi,*
- *secondario EISA a 16 bit senza possibilità di treni di impulsi,*
- *secondario ISA a 16 bit,*
- *secondario ISA a 8 bit.*

Ciò si ottiene tramite la conversione dei cicli, che è una caratteristica del bus EISA e del suo controller.
É interessante vedere il processo che viene svolto quando una scheda master per bus EISA a 32 bit deve scrivere in una posizione di memoria corrispondente ad una scheda ISA a 8 bit. Prima di esaminare in dettaglio questo processo, è però opportuno chiarire alcuni concetti.

Scheda master

Una scheda del computer viene convertita in scheda master tramite il segnale MASTER del bus AT e, per ipotesi, dell'EISA. Una utilizzazione del bus con questo segnale richiede diversi cicli, e il

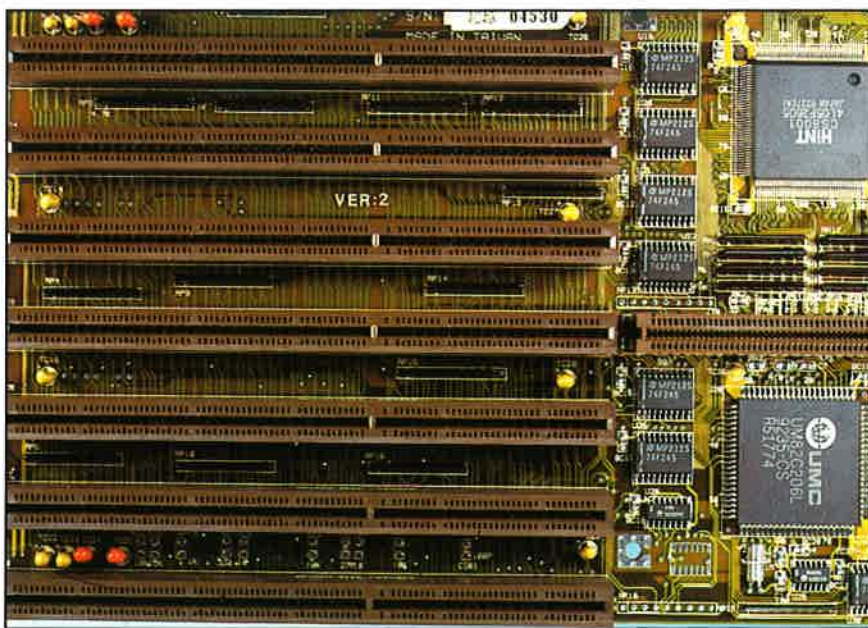
Il bus EISA è dotato di un connettore aggiuntivo per creare uno slot di espansione da 32 bit, che gli consente di essere compatibile con i bus già esistenti

Scheda madre di un 486 con bus di espansione ISA

Vecchia scheda lunga con slot ISA

master deve cedere periodicamente il bus per consentire il refresh della memoria, se non esegue egli stesso questa operazione.

Segnali EX32 ed EX16

Questi segnali indicano che l'entità secondaria è una scheda EISA che può supportare un ciclo rispettivamente da 32 o 16 bit. Se nessuno di questi segnali è confermato all'inizio di un ciclo, il bus si autoimposta in modalità compatibile ISA per quel ciclo.

Slot di un PC con bus EISA

Una scheda dell'elaboratore può essere convertita in master del bus tramite il segnale MASTER del bus AT, e per ipotesi di quello EISA

MEM CS16

Questo segnale nello standard EISA viene chiamato M16, ed è utilizzato dalla scheda periferica per comunicare alla scheda madre che è in grado di gestire trasferimenti di dati. Se l'80286 prova ad effettuare un accesso a 16 bit ad una scheda, e uno di questi segnali non si attiva, viene abilitato un componente hardware della scheda madre che provoca l'esecuzione di due cicli a 8 bit.

OWS

Questo segnale è stato aggiunto dalla IBM durante il progetto del bus AT, ed è stato applicato al terminale 8 che fino a quel momento non aveva alcuna funzione. Il suo scopo è quello di indicare che gli stati di attesa sono pari a 0. Quando questa linea viene disattivata vengono eliminati alcuni, o tutti, gli stati di attesa generati dalla scheda madre dell'AT. Inserendo questo segnale sul connettore a 62 terminali, la IBM ha consentito la creazione di schede da 8 e 16 bit veloci.

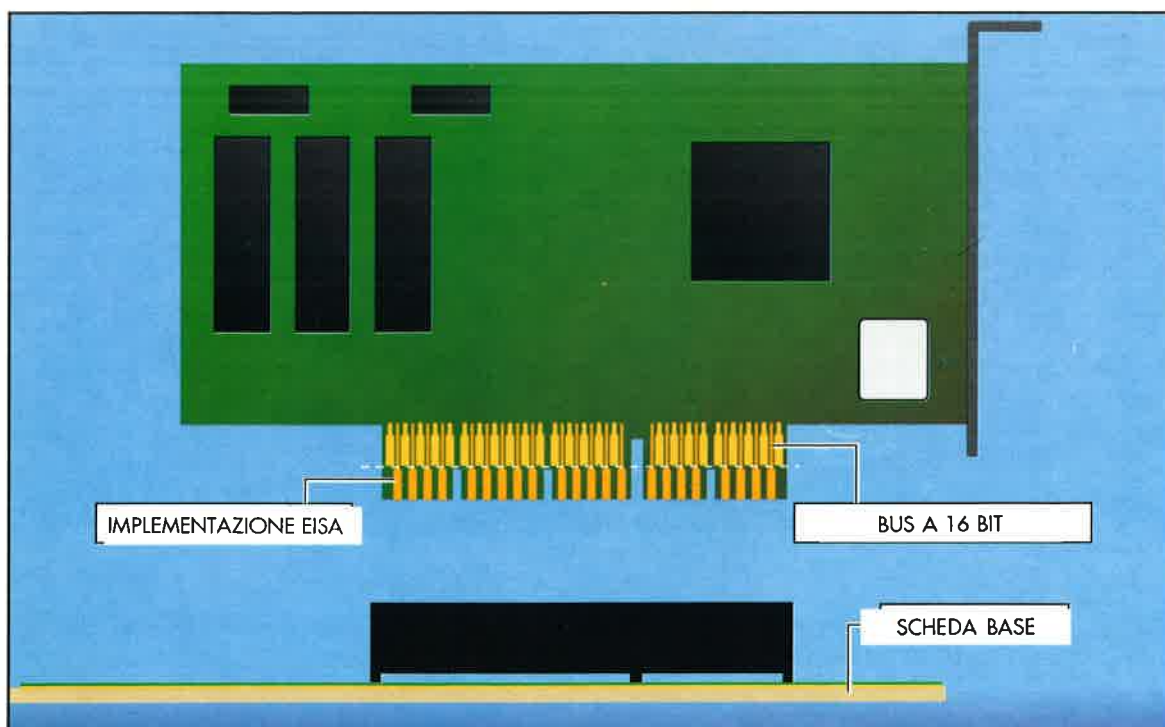
Dopo aver chiarito il significato di questi termini si può procedere con l'esempio. Il dispositivo master del bus sollecita il bus, stabilisce l'indirizzo e i dati, e attiva il segnale di start. Successivamente viene analizzata la condizione dei segnali EX32, EX16, M16 e OWS, operazione eseguita anche dal controller del bus. Per ipotesi, entrambi i dispositivi verificano che il ciclo non può essere realizzato completamente con un semplice trasferimento a 32 bit. Di conseguenza il controller assume il comando del bus, e riesamina l'indirizzo e i dati provenienti dal master del bus per diri-

LINEE	DESCRIZIONE
BE0-BE3	Indicano che parte del bus a 32 bit partecipa al ciclo attuale
M-IO	Distingue tra un ciclo di memoria e uno di I/O
START	Indica l'inizio di un ciclo del bus EISA
CMD	Controllo temporale in un ciclo del bus EISA
MSBURST	Indica che un master è in grado di eseguire cicli con treni di impulsi
SLBURST	Indica che uno slave è in grado di accettare cicli con treni di impulsi
EX32, EX26	Indica che l'elemento secondario è una scheda EISA
EXRDY	Indica che un elemento secondario EISA è pronto per finalizzare un ciclo
MREQn	Generato dal master per indicare il numero n di sollecitazione del bus
MAKn	Indica al master il numero n che è stato ceduto al bus
D16-D31	Indicano le nuove linee dei dati
LA2-LA16, LA17-LA3	Indicano le nuove linee del bus indirizzi

Il bus EISA non richiede dei circuiti logici aggiuntivi per la sua gestione

gerli verso il bus stesso, mentre il master del bus a sua volta esegue anch'esso questo indirizzamento verso il bus. Ciò non provoca alcun problema poiché entrambi controllano la linea nello stesso modo. Dopo mezzo ciclo di clock, il master del bus scollega i suoi dispositivi di controllo ritardandosi. A questo punto il controller del bus assume il comando del ciclo ed esegue quattro trasferimenti, separati di tipo ISA da un byte per poter trasmettere i dati.

Il grande vantaggio di questo sistema è dovuto al fatto che sia le periferiche che il master del bus DMA non richiedono una logica particolare per lo scorrimento dei byte e per la generazione dei cicli necessari per la gestione della grande varietà di trasferimenti disponibili. Le combinazioni sono gestite direttamente dal chip che agisce da controller del bus EISA.
Se un master a 16 bit indirizza la parola superiore di una memoria da 32 bit in un dispositivo

Connettore AT con doppia profondità EISA

I dispositivi ISA non consentono di condividere le linee di interrupt. Ciascuna linea viene attivata e controllata da un dispositivo tristate

secondario (slave) a 32 bit, il controller EISA pilota l'operazione tramite il sistema *copia al di sopra* (copy up). Questa funzione consente ad un master a 16 bit di accedere ad un modulo secondario a 32 bit senza essere dotato di un controller per le 32 linee.

Il sistema è molto semplice e realizzabile grazie all'intervento del bus EISA, che copia l'informazione relativa ai byte inferiori dei dati nei due byte superiori, in modo che arrivi a destinazione correttamente e nella locazione adeguata.

Le caratteristiche più rilevanti di questo bus sono:

a) *funziona da supporto per il bus master,*

b) *fornisce un supporto esteso al DMA,*

c) *consente l'autoconfigurazione delle schede EISA,*

d) *può usufruire di un software esteso di configurazione per le schede configurabili tramite interrupt EISA, quali le schede ISA già presenti.*

Di seguito verranno analizzate più dettagliatamente queste quattro caratteristiche.

a) Il bus master è necessario per le periferiche e i dispositivi di ingresso/uscita che richiedono un rendimento molto alto, come può essere l'accesso alla memoria. A questo proposito si devono evidenziare le seguenti funzioni:

- *supporto per diversi controller di ingresso-uscita che agiscono sul bus master,*
- *mediazione molto efficace dei bus.*

Esistono diversi elementi che cercano di ottenere il controllo del bus EISA:

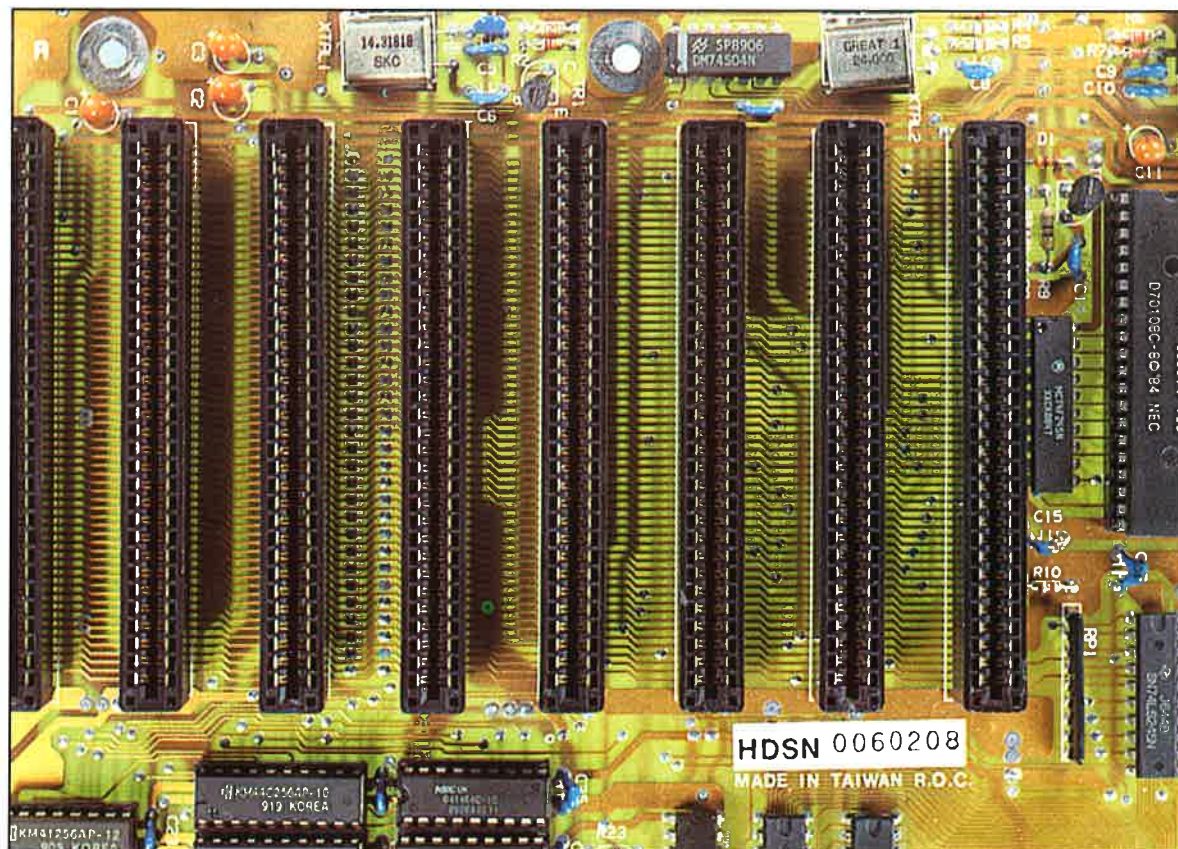
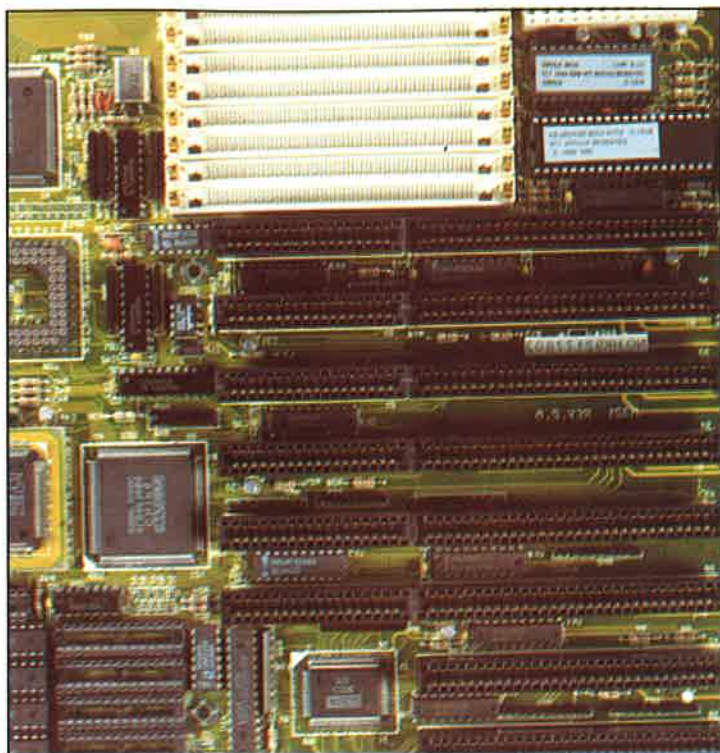
1) il controller per il refresh della memoria,

2) il canale DMA di massima priorità,

3) altri elementi esterni.

L'accesso al bus viene consentito tramite un sistema di arbitraggio basato su una rotazione tripartita. In questo modo viene garantita a tutti i master dei bus una pari opportunità, anche se potrebbe accadere che un canale DMA con priorità inferiore dopo aver fatto richiesta di accesso non possa utilizzare il bus, e vengono assicurati alla memoria dei cicli di refresh regolari per evitare di perdere dei dati.

Esiste anche un temporizzatore di controllo particolare che serve per verificare che nessuna entità mantenga il controllo del bus per un tempo ecces-

Scheda madre di un elaboratore con bus ISA a 8 bit

Scheda madre di un 386 con bus a 16 bit

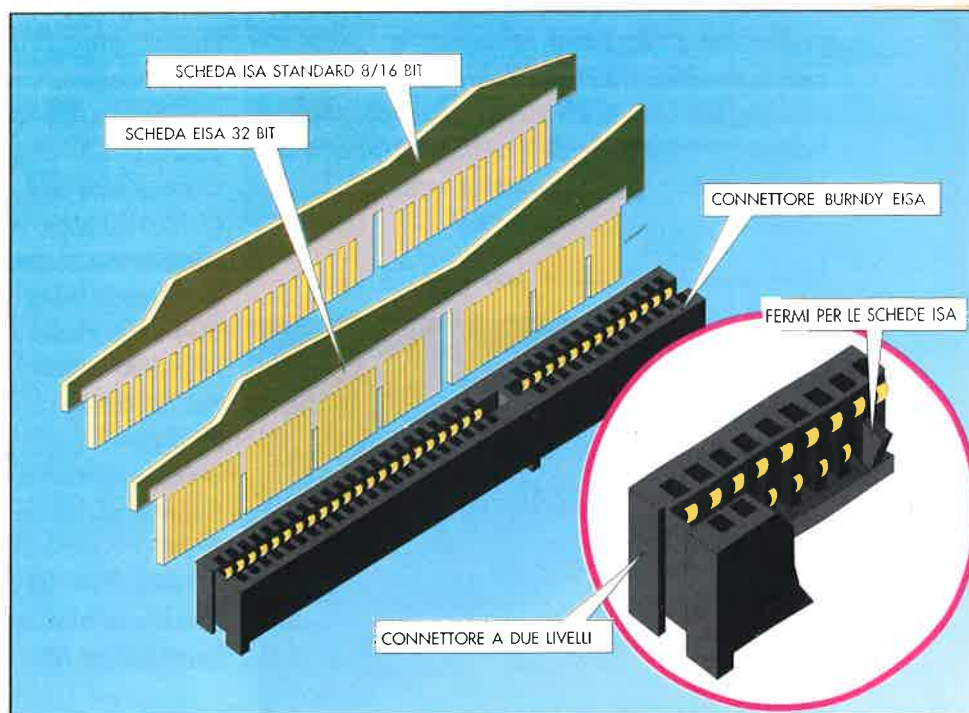
Il bus EISA offre la possibilità di condividere queste linee di interrupt, poiché è in grado di gestire diversi livelli. Pertanto, le schede EISA che utilizzano controller a collettore aperto per il controllo delle linee di interrupt possono condividere completamente le funzioni di interrupt. Tuttavia, bisogna fare particolare attenzione quando la condivisione coinvolge schede ISA e EISA. Le prime, anche se sono collegate a questo bus, non hanno la possibilità di contenimento, in quanto gli interrupt che utilizzano non possono essere condivisi. Una linea di bus a collettore aperto viene normalmente mantenuta a livello logico alto tramite una resistenza di pull-up. Questa linea può commutare a livello logico basso solo se l'uscita di un chip ad essa collegata presenta una resistenza tra la linea stessa e la massa inferiore alla resistenza di pull-up. Le uscite che gestiscono una linea a collettore aperto sono normalmente dotate di un solo transistor. Il collettore di quest'ultimo è collegato direttamente al terminale di uscita, men-

I connettori EISA sono progettati per essere completamente compatibili con le schede ISA

sivo. Quando il temporizzatore indica che il turno è terminato, il master del bus si ritira, e contemporaneamente viene generato un interrupt non mascherabile nella CPU in modo che non possa essere disabilitato.

MEDIAZIONE DEGLI INTERRUPT

Un problema che potrebbe presentarsi quando si decide di espandere il proprio calcolatore e si acquista una scheda di controller, è la sua installazione. Si devono infatti esaminare gli interrupt utilizzati, e a volte risulta difficile, per non dire impossibile, trovare un interrupt libero. I dispositivi ISA non consentono di condividere linee di interrupt. Ciascuna linea viene attivata e controllata attraverso un dispositivo tristate.

Piedinatura dei terminali di un bus EISA

Attualmente esistono calcolatori con bus EISA basati solamente sui microprocessori 80386, 80486 e Pentium

tre gli altri sono aperti, da cui il nome di *collettore aperto*. Il transistor viene posto in saturazione lasciandolo attivo per tutto il periodo,in modo da poter presentare la bassa resistenza necessaria tra la linea del segnale e la massa.

b) Per quelle periferiche che non richiedono queste prestazioni l'accesso alla memoria viene consentito tramite il canale DMA.

c) I sistemi EISA permettono la configurazione dei DIP-switch presenti nelle vecchie schede ISA.

d) Il connettore EISA è stato progettato per essere completamente compatibile con le schede ISA. I contatti del connettore sono suddivisi su due file:
- *fila superiore:* su questa fila sono presenti tutti i segnali ISA,
- *fila inferiore:* su questa fila sono presenti tutti i nuovi segnali EISA.

Esistono alcuni fermi in plastica che impediscono alle schede ISA di essere inserite troppo profondamente da venire a contatto con i segnali EISA.

I contatti delle schede EISA sono molto più vicini tra di loro rispetto a quelli ISA, poiché i nuovi segnali si intercalano a quelli vecchi. Nello stesso spazio perciò, sono presenti più segnali, e questa distribuzione fa sì che il connettore di una scheda EISA possa ospitare una quantità quasi doppia di contatti.

EISA E ALTRI BUS

Il bus EISA, quello MicroChannel della IBM, e il NuBus della Macintosh sono tutti dotati di un indirizzamento a 32 bit e di un sistema di trasferimento dei dati della stessa capacità; inoltre, hanno un sistema di configurazione e di implementazione estremamente semplice. La differenza maggiore è costituita dalla compatibilità del bus EISA con le schede e le periferiche già presenti in commercio che seguono le normative dell'ISA.

Scheda madre di un PC 386 con bus a 16 bit

Inoltre, lo standard EISA consente per le operazioni del bus master la conversione automatica dei dati. Il rendimento dei dispositivi EISA è superiore del 50% rispetto a quelli con bus MicroChannel. Uno dei principali vantaggi del bus EISA è rappresentato dalla sua velocità effettiva. In condizioni opportune le periferiche EISA possono eseguire trasferimenti di treni di impulsi da 32 bit con una frequenza di trasmissione che può arrivare sino a 33 Mbyte al secondo, valore molto superiore ai 5 Mbyte/s che può raggiungere il bus MicroChannel.

Le schede EISA hanno una superficie quasi doppia, per facilitare il loro montaggio e contemporaneamente abbassarne i costi, poiché non si rende necessario il ricorso alla costosa tecnologia a montaggio superficiale SMD. Un adattatore EISA può supportare una richiesta di potenza superiore al doppio di quella pilotabile da una scheda MicroChannel. Per questo motivo molte periferiche sono più economiche e più semplici da costruire in tecnologia EISA piuttosto che in tecnologia MicroChannel. Alcuni esempi di quanto detto sono costituiti dagli hard disk su scheda, dalle schede a relè, e dalle schede intelligenti di ingresso/uscita dotate di una quantità di RAM molto elevata.

Generalmente le aziende produttrici di schede madri non utilizzano sistemi EISA per apparecchiature di medio e basso livello, come possono essere gli elaboratori basati sui microprocessori 80386SX e 80286, poiché la velocità di clock massima raggiungibile sarebbe appena di 16 o 20 MHz. Molti sforzi vengono invece fatti con sistemi ad alto livello, come possono essere gli elaboratori basati su microprocessori 80386DX, 80486 e Pentium. A volte il bus EISA viene chiamato con altri nomi, come ad esempio VESA, ma le caratteristiche rimangono generalmente inalterate.

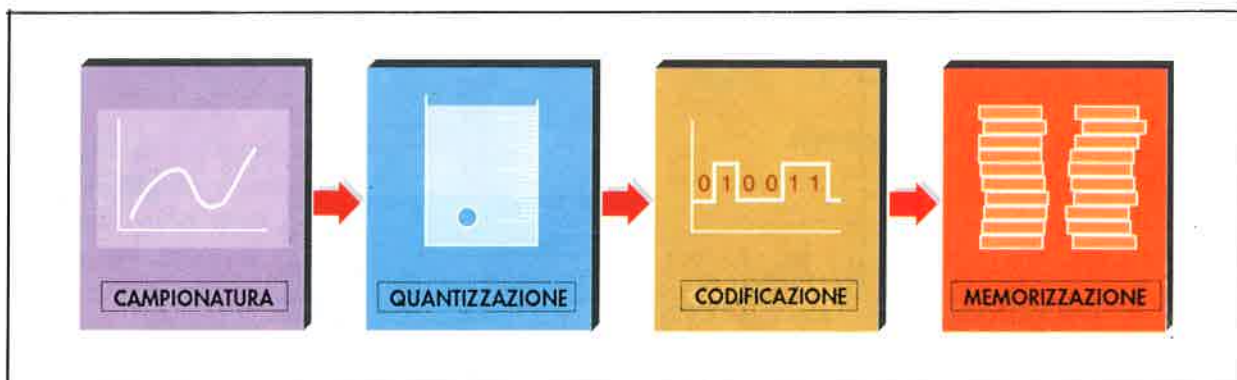
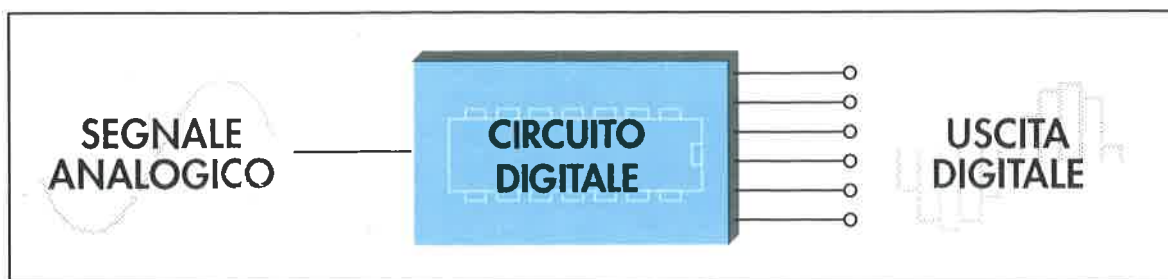
Un'altra differenza sostanziale tra il bus EISA e il bus MicroChannel è dovuta al fatto che la prima architettura non deve attendere che compaiano le versioni EISA dei controller per poter utilizzare le vecchie schede; questo non si verifica invece per l'architettura MicroChannel.

I CONVERTITORI A/D

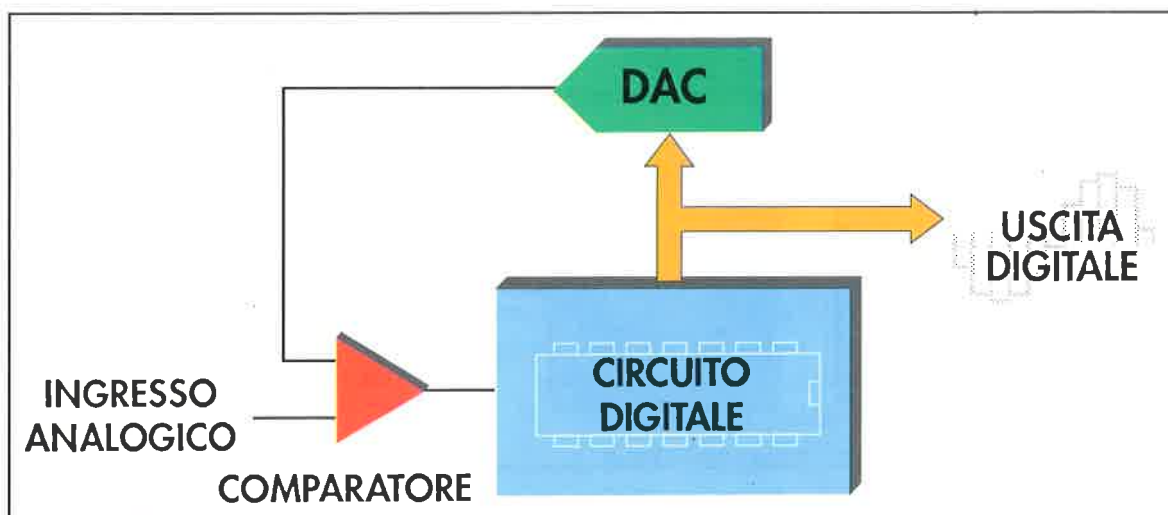
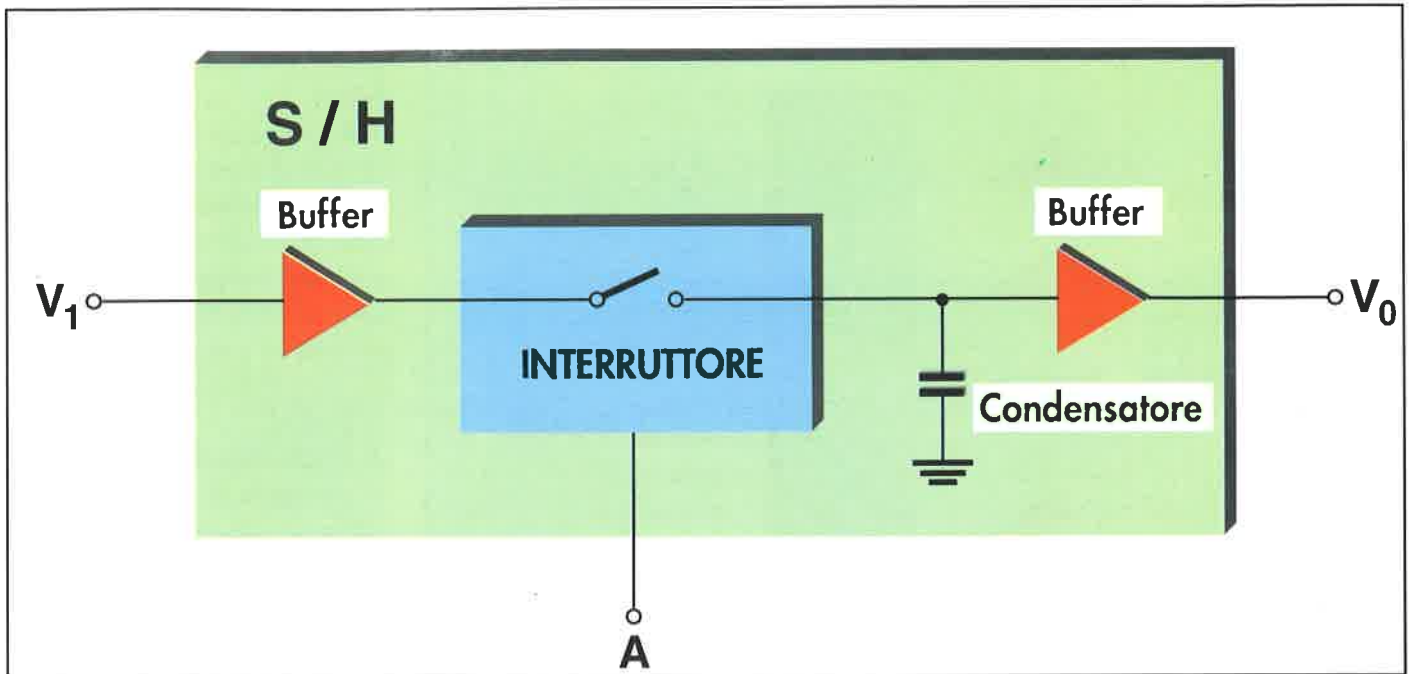
Lo sviluppo dei circuiti digitali, ed in particolar modo la comparsa dei microprocessori, ha portato alla sostituzione di molti circuiti analogici con dei corrispondenti digitali.

Le grandezze che si manifestano nel mondo reale sono costituite da parametri fisici quali la temperatura, la pressione, ecc., che vengono rappresentate come segnali analogici e che nei circuiti analizzati in queste pagine devono essere elaborati come segnali digitali. Da ciò la necessità di poter usufruire di particolari circuiti che ne permettano la loro trasformazione.

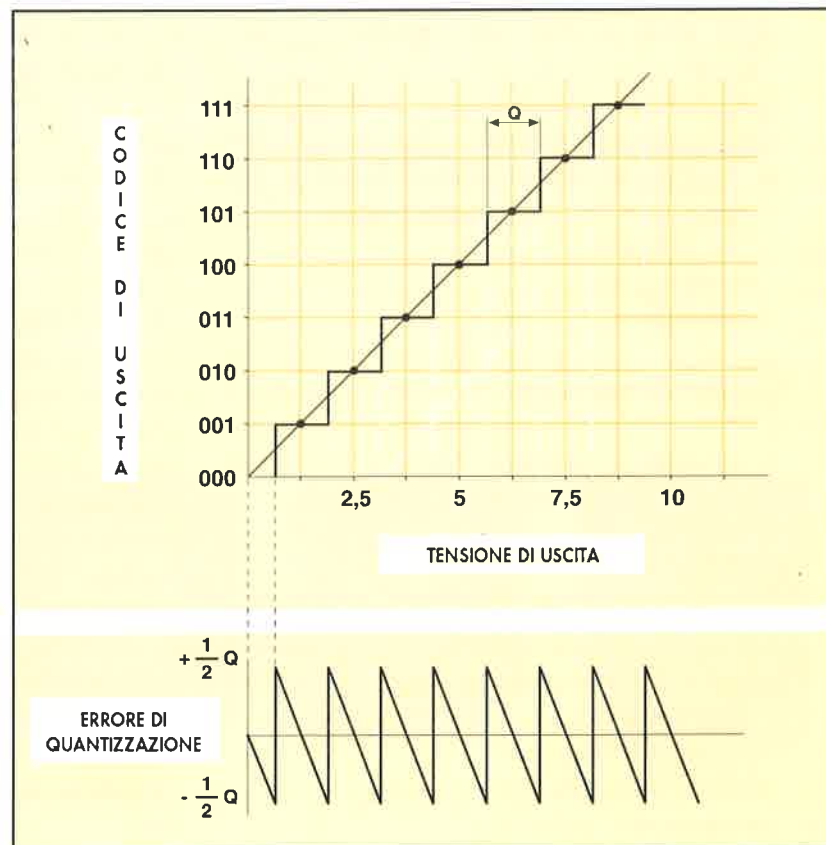
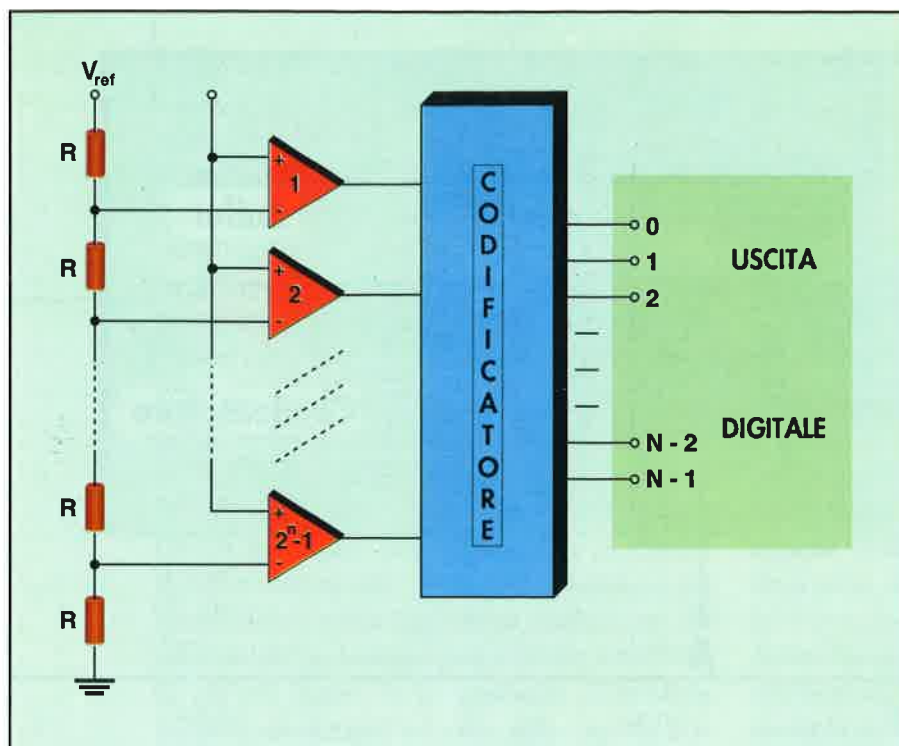
CONVERTITORI ANALOGICO/DIGITALI

I concetti di analogico e digitale sono ormai noti da molti anni. Come detto nella premessa, la maggior parte delle informazioni presente in natura si manifesta in modo analogico; ciò significa che queste grandezze subiscono delle variazioni continue in ampiezza in funzione del tempo. Questa variazione continua non avviene in una informazione di tipo digitale, poiché ammette solamente due condizioni completamente contrapposte. Questo genere di informazione è piuttosto difficile da trovare in natura, e i pochi casi in cui questa si manifesta possono originare facilmente degli equivoci. A titolo di esempio si può indicare la situazione di "pieno e vuoto", oppure quella di "vita o morte", che rappresentano valori perfettamente distinti che ammettono un numero finito di stati in un intervallo di tempo determinato.
Proseguendo con gli esempi relativi alle differenze tra condizione analogica e digitale si possono citare gli orologi, che possono essere di un tipo o dell'altro. Quelli analogici si caratterizzano per la

Schema a blocchi di un convertitore analogico/digitale

Convertitore A/D appartenente alla famiglia a ciclo aperto

loro capacità di indicare gli infiniti valori che può assumere la variabile tempo nel suo percorso, per cui in un intervallo di tempo finito il numero di valori che vengono visualizzati risulta infinito.
Gli orologi digitali invece forniscono un numero di valori determinato, che varia in funzione del grado di precisione degli stessi (risoluzione). Se ad esempio un orologio può indicare solamente le ore e i minuti, in un intervallo di sessanta secondi visualizzerà solo due valori, quello precedente e quello successivo a questi ultimi. Se invece l'orologio è in grado di indicare anche i secondi, nello stesso spazio di tempo precedente i valori forniti sono 62.
Questi esempi servono per capire come, in funzione della precisione, un orologio digitale sia in grado di visualizzare un numero più o meno elevato di valori. Ciò che è certo è che gli orologi digitali in un intervallo di tempo determinato forniscono sempre un numero di valori finito.
Traendo le conclusioni da quanto detto, si può facilmente affermare che l'informazione digitale rappresenta un metodo pratico per analizzare il comportamento della natura in modo semplice. Il processo di trasformazione di un'informazione di tipo analogico in una di tipo digitale è chiamato *conversione analogico/digitale*. L'informazione digitale viene espressa con degli 0 e 1, poiché deve poter essere gestita da microprocessori.
La conversione analogico/digitale è una operazione che veniva eseguita già parecchio tempo fa, anche se non con il significato attuale; quando ad esempio un medico chiedeva a un paziente quale era il suo stato di salute, le risposte possibili erano sempre e solo tre: bene, male, come sempre.
Trasferendo questo banale esempio al campo dell'elettronica, si può definire una variabile X che corrisponda allo stato di salute del paziente in un determinato istante; questa variabile, nel convertitore analogico/digitale che si vuole esaminare, viene chiamata *campionamento*.
A questo punto il paziente fornisce una indicazione sul suo stato di salute in quel preciso istante, per cui seleziona una delle tre risposte possibili che corrispondono ad una operazione che nel convertitore viene chiamata *quantizzazione*.

Nei convertitori con reazione è presente un comparatore che rappresenta il cuore del dispositivo

Circuito di sample & hold di un convertitore A/D

Infine viene assegnato il valore considerato in precedenza al livello che più si avvicina allo stato di salute del paziente: bene, male, come sempre. Questa operazione in un convertitore viene chiamata *codifica*. Il funzionamento della conversione analogico/digitale è basato sul fatto che l'informazione analogica non è direttamente manipolabile o processabile tramite dei sistemi digitali o con un elaboratore, ma lo sono i segnali digitali che possono essere memorizzati indefinitamente e che sono in grado di riprodurre il segnale analogico senza errori apprezzabili. L'esempio più evidente di questa situazione è la tecnica di incisione digitale, nella quale il segnale analogico, in questo caso la voce, dopo un primo processo di analisi viene sottoposto a campionatura e trasformato in linguaggio binario. Gli 1 e 0 che vengono generati con questa operazione sono quelli che successiva-

Il caratteristico errore di quantizzazione consente di determinare l'intervallo dei segnali analogici

Nei convertitori con comparatori in parallelo i processi di quantizzazione e di codifica sono nettamente separati

mente verranno incisi sul compact-disc; questi dischi, grazie alla tecnologia laser, possono essere riprodotti con una qualità del suono incredibilmente simile a quella del segnale analogico originale.
Riassumendo, anche se esistono molti tipi o famiglie di convertitori analogico/digitali (che saranno oggetto dei capitoli successivi), tutti devono svolgere le tre fasi citate in precedenza:
- *campionamento,*
- *quantizzazione,*
- *codificazione.*

CLASSIFICAZIONE DEI CONVERTITORI A/D

La conversione analogico/digitale può essere suddivisa in due grandi sistemi principali:
- *a ciclo aperto,*
- *con reazione.*

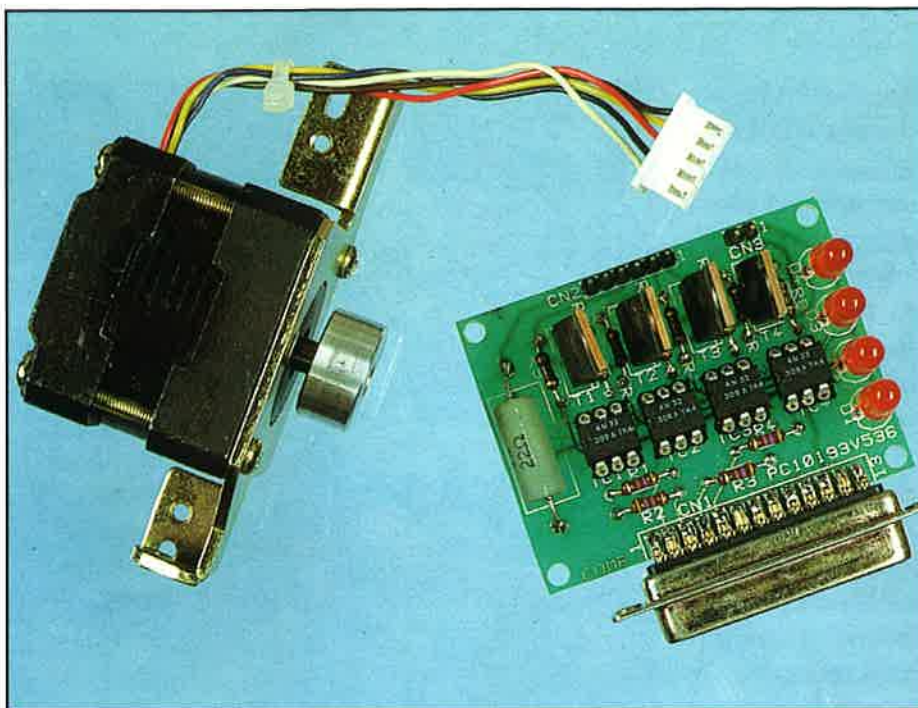
Il convertitore a ciclo aperto genera un codice digitale ricavato direttamente dalla tensione di ingresso. In questo gruppo si possono distinguere i seguenti sottogruppi:
- *analogico a frequenza,*
- *analogico a larghezza di impulso,*
- *conversione in cascata.*

Il convertitore con reazione genera invece una sequenza di numeri digitali, li converte in un valore analogico, e confronta quest'ultimo con l'ingresso analogico. L'uscita digitale che ne risulta rappresenta il valore più prossimo a quello che si ottiene dal confronto con il valore di ingresso. In questo sottogruppo i tipi di convertitori più importanti sono:
- *a gradini,*
- *a rampa lineare,*
- *a conteggio continuo,*
- *ad approssimazioni successive,*
- *a conversione non lineare,*
- *a doppia rampa.*

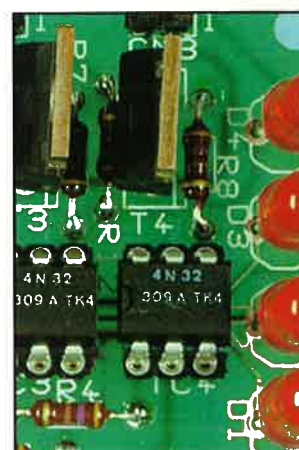
Ciascuno di questi modelli, le cui caratteristiche verranno ampiamente esaminate nei capitoli successivi, realizza la funzione di conversione in modo diverso, pur ottenendo alla fine lo stesso risultato.

CARATTERISTICHE DEI CONVERTITORI A/D

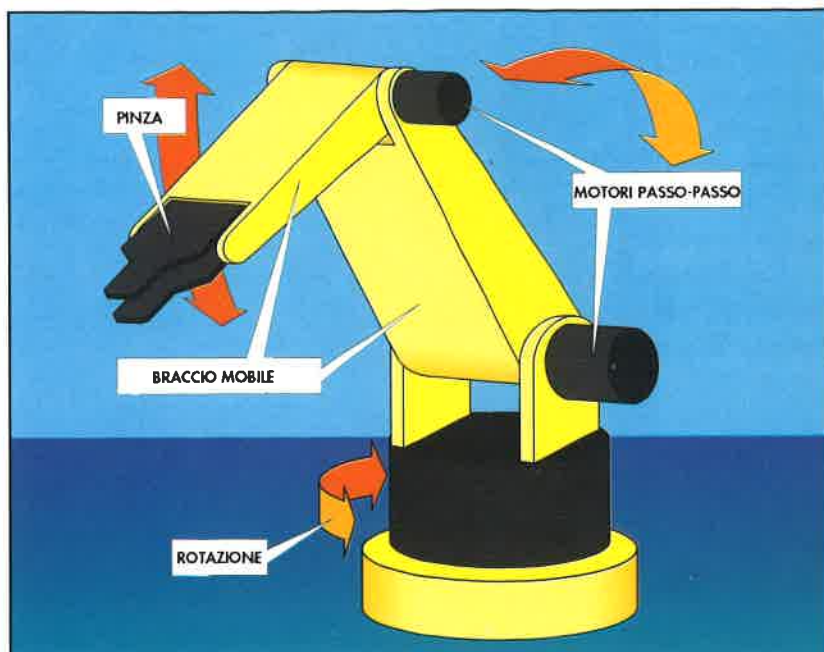
Le caratteristiche più importanti dei convertitori analogico/digitali che devono essere considerate quando si deve operare con questi dispositivi sono:
- *la risoluzione,*
- *la linearità,*
- *la precisione,*
- *l'impedenza di ingresso,*
- *la sensibilità.*

Si devono segnalare anche due altre importanti caratteristiche che sinora sono state trascurate:
- *l'errore di quantizzazione*: questo errore è conseguenza del fatto che in un convertitore la continuità del segnale analogico è suddivisa per una potenza di due. In questo modo tutti i valori analogici compresi in un determinato intervallo vengono rappresentati con un unico codice digitale, normalmente assegnato al valore medio del segnale originale.
- *il tempo di conversione*: che rappresenta il tempo richiesto dal convertitore per fornire la parola digitale equivalente all'ingresso analogico applicato.

CONTROLLO DI MOTORI PASSO-PASSO

Uno dei componenti più interessanti nel mondo della robotica è senza dubbio il motore passo-passo. Per questa ragione, tra le varie proposte di dispositivi collegabili al computer, non poteva mancare una interfaccia per il controllo di questo particolare tipo di motori tramite PC.

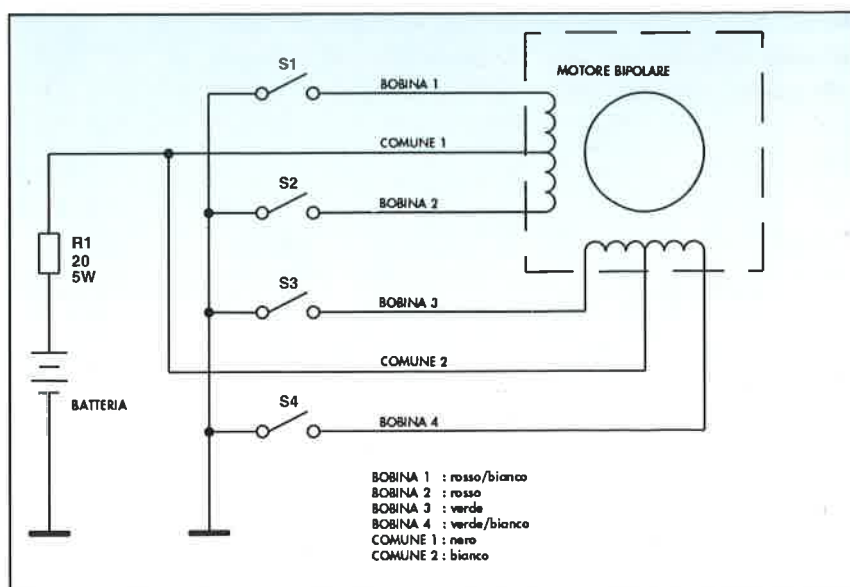
In questo capitolo verranno fornite tutte le informazioni necessarie per costruire una interfaccia tra il calcolatore e un motore passo-passo, al fine di consentire ai lettori di addentrarsi in modo semplice e didattico nell'affascinante mondo dell'automazione. Durante la descrizione della parte realizzativa e di utilizzo di questa interfaccia verranno affrontati anche gli aspetti teorici relativi a questo tipo di motori, fino ad arrivare alla formulazione di un

Costruendo e utilizzando questa interfaccia si può imparare buona parte della teoria relativa a questi motori.

Lo spostamento angolare di un motore di questo tipo avviene per passi fissi determinati dalla sua struttura costruttiva

programma in BASIC necessario per il suo funzionamento.
Questo circuito può essere utilizzato anche come controller, poiché se viene abbinato ad un qualsiasi relè di tipo standard facilita la comunicazione del PC con il mondo esterno.
Il primo tema che bisogna affrontare riguarda il funzionamento dei motori passo-passo; conoscendo questo aspetto sarà possibile comprendere i metodi e le tecniche utilizzate per il loro controllo con l'interfaccia proposta.

Con un motore passo-passo si ottengono movimenti di precisione

I MOTORI PASSO-PASSO

Solo pochi componenti hanno provocato tante mutazioni nel mondo dell'automazione industriale come i motori passo-passo. Oltre alla vastissima gamma di applicazioni nell'industria meccanica moderna, questi motori costituiscono l'elemento fondamentale della robotica applicata.
Quando si parla di robotica industriale, molti lettori potrebbero essere portati a pensare ad apparecchiature molto grandi e complesse, ma non sempre è così. Di fatto, i motori passo-passo vengono utilizzati anche in dispositivi molto comuni, come possono essere i floppy drive del calcolatore, le stampanti e addirittura qualche gioco per bambini. La conoscenza di questi dispositivi e dei loro circuiti di controllo è sicuramente un requisito indispensabile per coloro che intendono addentrarsi nel mondo dell'elettronica industriale. Infatti, si è sviluppato un gergo del tutto particolare legato a questi dispositivi e alle periferiche alle quali sono connessi.
Qualcuno si potrebbe chiedere cosa hanno di tanto particolare i motori passo-passo per essere considerati così speciali; bisogna sapere, che essenzialmente non differiscono molto da un motore in corrente continua standard, anche se il modo di operare è completamente diverso. Un motore passo-passo viene progettato e costruito non per ruotare in modo continuo ad una determinata velocità, ma per eseguire una rotazione angolare prefissata in corrispondenza di ogni impulso che arriva al suo sistema di controllo; ciascuna di queste rotazioni parziali viene definita passo reale del motore.

I motori passo-passo sono dotati di due bobine con presa centrale

BOBINA / PASSO	1	2	3	4	EQUIVALENTE DECIMALE
1	1	0	1	0	10
2	1	0	0	1	9
3	0	1	0	1	5
4	0	1	1	0	6

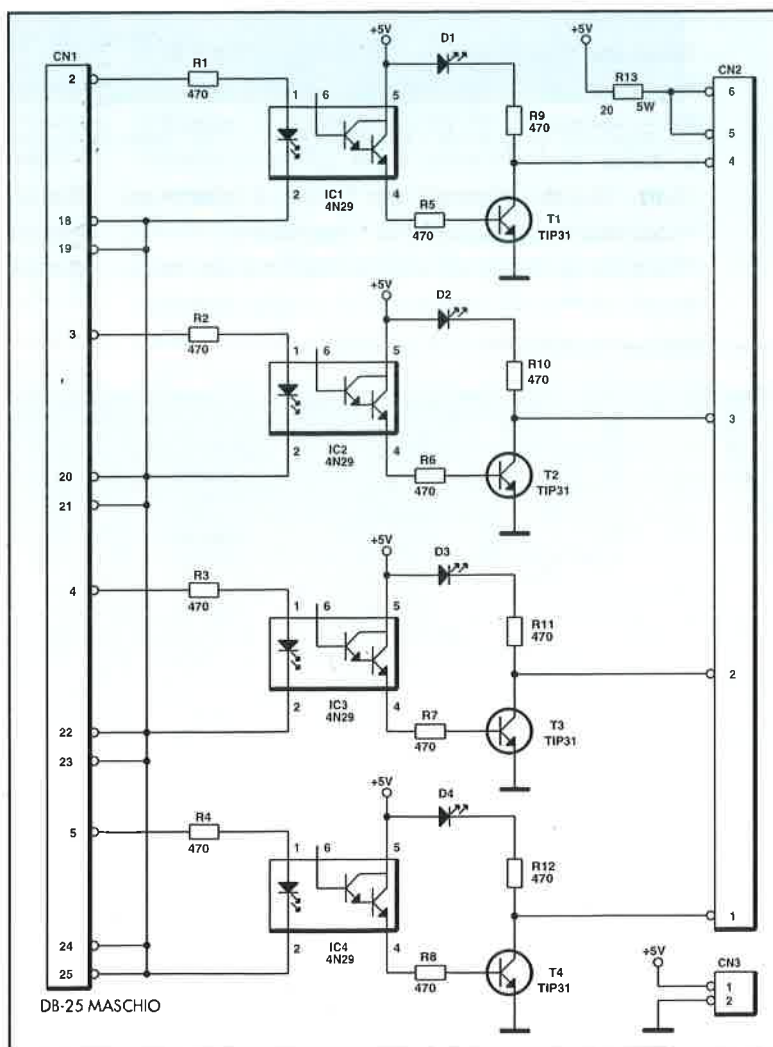
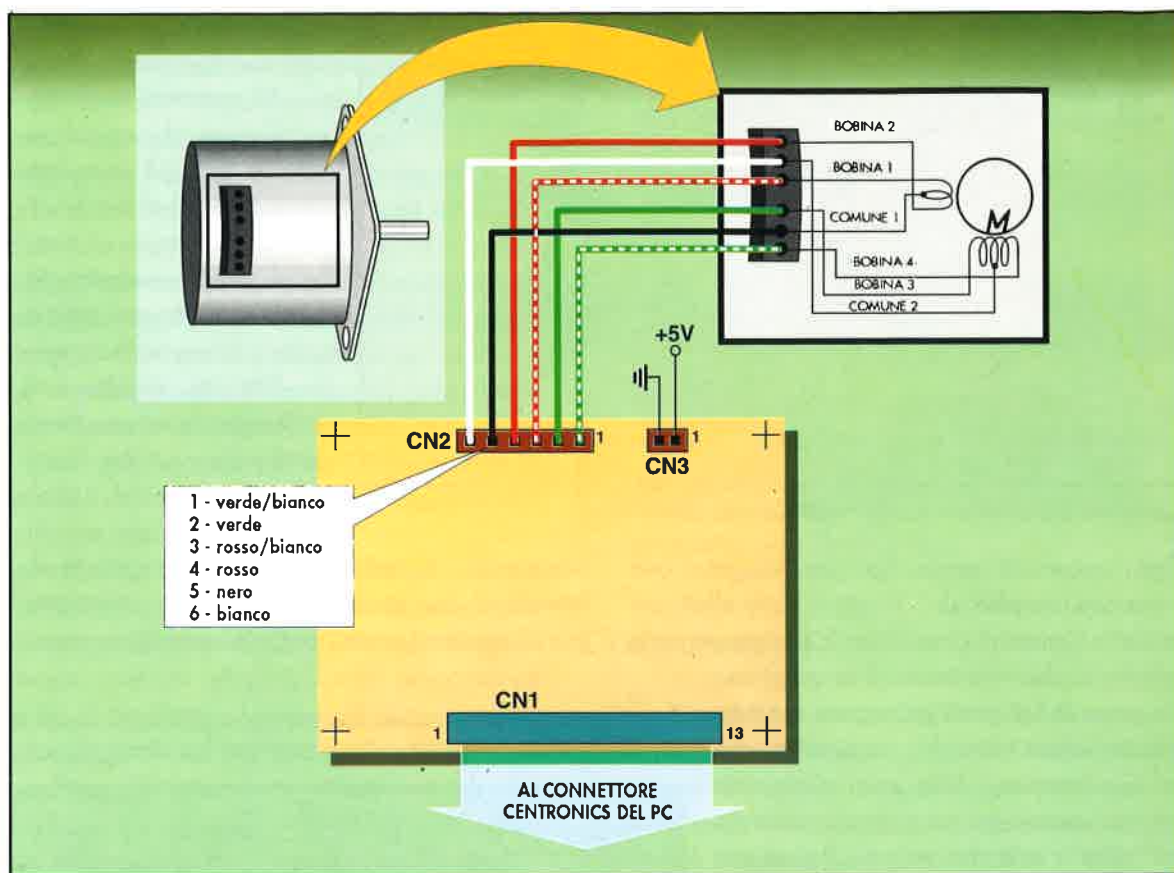
1 = ATTIVATA
0 = DISATTIVATA

Tabella dei passi e dei corrispondenti valori di ciascun bit

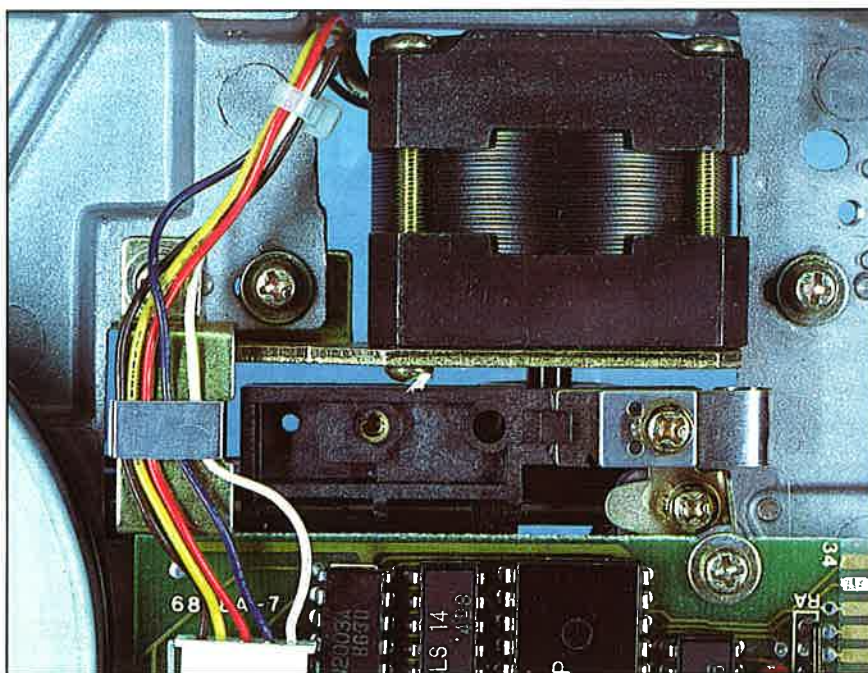
sposti dello spazio necessario per eseguire la stampa del carattere successivo. Grazie al particolare sistema con cui vengono controllati questi motori, è possibile effettuare un cambio di direzione sfruttando semplicemente una logica molto simile a quella appena descritta. Questo è il motivo per cui alcune stampanti possono agire in entrambe le direzioni. Un'altra particolarità dei motori passo-passo è costituita dalla loro capacità di fermarsi in una posizione prestabilita, situazione che consente di posizionarli con precisione asso-

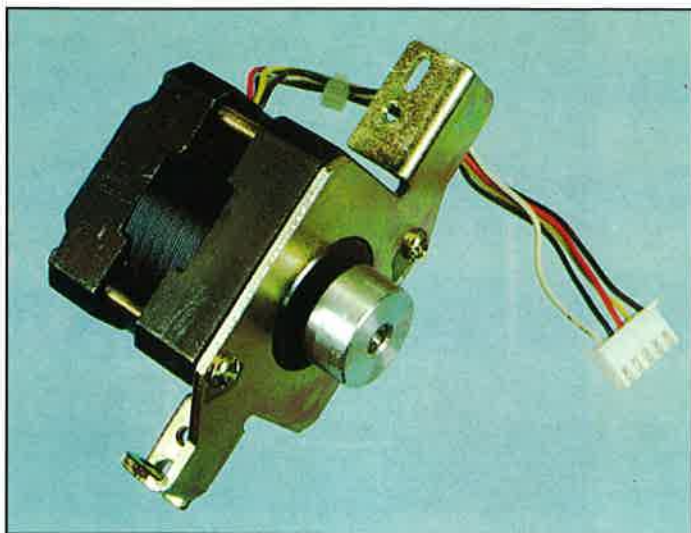
Una particolarità dei motori passo-passo è la loro capacità di fermarsi in una posizione determinata

Ogni motore di questo tipo, per eseguire una rotazione completa di 360 gradi, deve effettuare un certo numero di passi finito, che dipende dalle caratteristiche intrinseche di costruzione.
Un passo di 1,8 gradi può essere considerato un valore normale; ciò significa che ad ogni impulso (che sarà esaminato successivamente) ricevuto direttamente dal controller, l'asse del motore effettua una rotazione di 1,8 gradi per poi fermarsi. In questo caso, se l'asse deve effettuare una rotazione complessiva di 18 gradi è necessario applicare al controller del motore 10 impulsi. Se invece si desidera una rotazione continua, che comunque avviene per scatti successivi, il controller deve ricevere un flusso permanente e costante di impulsi.
Un esempio significativo del sistema di controllo di un motore passo-passo è costituito dalla testina di una stampante, che percorre la carta longitudinalmente guidata da una cinghia dentata a sua volta pilotata da una puleggia dentata calettata sull'asse di un motore passo-passo. Il software (o per essere precisi il "firmware", un insieme di programmi contenuti in una memoria PROM) della stampante conosce in anticipo il numero di passi da applicare al suo motore, che corrispondono a un determinato numero di spazi percorsi dalla testina sulla carta. Dopo aver ordinato la stampa di un determinato carattere, il firmware invia al motore il numero esatto di impulsi perché questo si

Schema dell'interfaccia. Tramite il connettore DB-25 viene collegata alla porta Centronics del calcolatore

La commutazione di polarità di un motore passo-passo si ottiene grazie ad un circuito esterno dotato di transistor

Collegamenti tra il circuito e il motore. Questi possono variare in funzione del tipo di motore

luta. Si può utilizzare uno di questi motori per controllare ad esempio la rotazione di una vite filettata applicata ad una piattaforma scorrevole dotata di un foro filettato. Questa *vite senza fine* consente lo spostamento avanti/indietro della piattaforma di uno spazio proporzionale al numero di impulsi o passi forniti al motore. Con due viti di questi tipo, tra loro orientate di 90 gradi, si può generare un movimento sul piano X-Y simile al movimento del pennino di un plotter. Con una apparecchiatura dotata di tre dispositivi passo-passo si può ottenere un movimento spaziale sui tre assi, condizione molto frequente nella meccanica dei processi industriali.

Il motore può essere recuperato da un vecchio disk drive

AVANZAMENTO PASSO-PASSO

La struttura di un motore passo-passo è simile a quella dei motori in corrente continua a magnete permanente. Entrambi infatti utilizzano un rotore a magnete permanente e uno statore formato da

Motore passo-passo di un disk drive

una armatura e da una bobina (o da una serie di bobine) che costituisce l'avvolgimento necessario per generare il campo magnetico. Questo campo si oppone a quello creato dal magnete permanente, e genera la rotazione del rotore. In un motore standard è necessario provocare una "commutazione" che faccia variare il campo generato dalle bobine, in modo che l'opposizione di quest'ultimo sia continua rispetto al campo intrinseco del rotore per dare origine al movimento ininterrotto. Nei motori "normali" questa commutazione viene realizzata per mezzo di "spazzole" e di un *collettore a lamelle* (formato da un cilindro segmentato in piccole parti o lamine che viene calettato direttamente sull'asse di rotazione). La rotazione del motore provoca di conseguenza anche la rotazione del collettore, che chiude il circuito delle diverse bobine di statore in funzione delle lamelle che di volta in volta vengono a contatto con le spazzole; ovviamente queste bobine sono costruite in modo da essere attraversate dalla corrente alternativamente in senso opposto, per creare quella continuità di flusso magnetico che si oppone allo statore per provocarne la rotazione.
A differenza di quanto detto sinora, nel motore passo-passo la commutazione avviene in un circuito esterno a quello del motore stesso, che provoca il collegamento o l'apertura delle bobine tramite dei transistor. Inoltre, in questi motori non è richiesta la generazione di un campo magnetico continuo in opposizione; ciò che si vuole ottenere è semplicemente una "attrazione" del rotore da parte delle bobine per portarlo in una posizione prestabilita e mantenerlo in quella condizione. Per far avanzare il motore di un passo, è necessario eccitare determinate bobine per provocare ancora l'attrazione del rotore nella nuova posizione. Nella figura corrispondente si può osservare lo schema tipico di un motore passo-passo. Se la tensione viene applicata alle quattro bobine in un certo ordine, si ottiene l'avanzamento di un passo del motore. In motori diversi sono necessarie sequenze di passo differenti. Nella tabella riportata in figura viene presentata una sequenza tipica di attivazione. Se si eccitano le bobine nella successione indicata da questa tabella si fa avanzare il motore in un verso; invertendo la sequenza il motore si sposta nel verso contrario. L'arresto del motore si ottiene applicando tensione contemporaneamente a due bobine. Per aumentare o diminuire la velocità di rotazione del motore è sufficiente variare la frequenza di commutazione delle bobine. Questo processo di accelerazione/decelerazione viene definito *ramping*, ed è generalmente utilizzato quando al motore viene applicato un carico elevato. Gli elementi circuitali necessari per generare i comandi richiesti dal motore possono essere semplici oppure relativamente complessi. La sequenza degli impulsi si può ottenere con delle porte logiche, con dei sistemi a microprocessore monoscheda, oppure con dei controller pilotati da PC. Questi ultimi sono normalmente costituiti da una scheda in grado di gestire più motori contemporaneamente che si inserisce in uno slot dell'elaboratore. In alcuni sistemi più complessi, per ottenere un controllo più sicuro della posizione dell'asse viene utilizzato anche un codificatore ottico.

Gli elementi circuitali necessari per generare i dati che servono al motore possono essere semplici o, al contrario, relativamente complessi

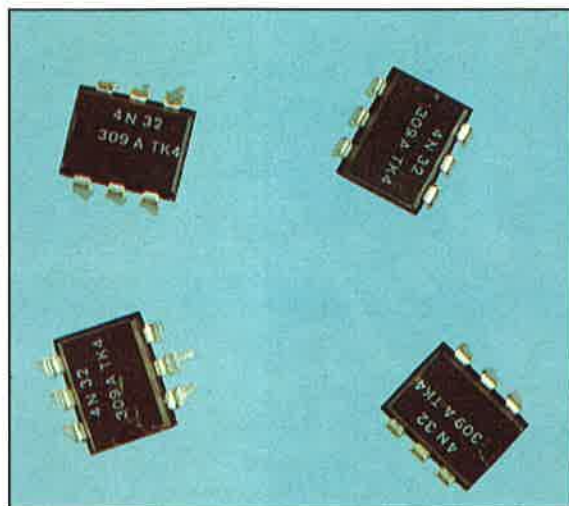
IL MOTORE

Attualmente non è difficile trovare in commercio un motore passo-passo per la costruzione di un prototipo sperimentale. Ad esempio, è possibile recuperarlo da una stampante rotta o da un disk drive guasto, purché il problema non sia dovuto proprio al motore stesso. Bisogna tener presente però, che esistono diversi tipi di motori passo-

L'unica precauzione è quella di regolare l'alimentazione al valore indicato sull'etichetta presente sul corpo del motore

passo, e ciascuno richiede una logica di controllo diversa. La configurazione più semplice da gestire per un controller è quella riportata in figura. Questo motore passo-passo è chiamato *ibrido* ad *avvolgimento bipolare* e a *sei connessioni*. La scheda di controllo proposta è basata su questo tipo di motore, poiché la struttura di questo modello si può ricavare facilmente verificando con un tester la continuità delle sue bobine, ciascuna delle quali è dotata di presa centrale. Inoltre, i colori che identificano i diversi terminali rispettano generalmente uno standard internazionale, per cui è immediato stabilire se il motore che si possiede è dello stesso tipo di quello rappresentato in figura.

Dopo aver localizzato i terminali comuni, è necessario identificare i rimanenti. Il metodo più semplice è senza dubbio quello di provare a collegarlo nel modo mostrato in figura. L'unica precauzione è quella di regolare la tensione di alimentazione al valore indicato sull'etichetta applicata sul corpo del motore. Gli interruttori indicati con S1 - S4 possono essere sostituiti con qualunque altro tipo di interruttore che si ha a disposizione. La resistenza da 20 Ω è utilizzata come limitatrice e la sua funzione è quella di evitare dei surriscaldamenti quando il motore si ferma in una posizione statica. Per definire un modus operandi corretto è necessario numerare in modo arbitrario due fili (che condividano un comune centrale) con 1 e 2 e gli altri due con 3 e 4. Per osservare meglio il verso di rotazione del motore si consiglia di applicare all'asse di rotazione un pezzo di carta. Dopo aver eseguito tutti i collegamenti bisogna chiudere gli interruttori corrispondenti ai terminali 1 e 3. Successivamente si devono aprire questi interruttori e chiudere quelli corrispondenti ai terminali 1 e 4. In questo modo si simula in pratica la sequenza di alimentazione delle bobine; per procedere si deve consultare la tabella riportata in figura. Se il motore avanza di un solo passo alla volta e sempre nello stesso verso allora si può essere certi che la numerazione iniziale dei cavi è stata eseguita correttamente.

Se invece la rotazione avviene in un verso, e al passo successivo si inverte, si devono rinumerare i cavi finché non si trova la combinazione esatta, che corrisponde alla rotazione del motore sempre nello stesso verso.

I fotoaccoppiatori sono di tipo Darlington

L'INTERFACCIA

Invece di utilizzare un circuito di controllo complesso, oppure addirittura una scheda a microprocessore, si è preferito progettare un controller costituito semplicemente da una interfaccia non intelligente in grado però di permettere il colloquio tra un personal computer ed il motore. Ciò significa che il compito di "pensare" spetta al calcolatore, mentre la scheda di controllo si limita ad applicare i segnali ricevuti dal PC alle bobine del motore. Esistono diversi sistemi per immettere e ricevere informazioni da un elaboratore, ma in questo caso si è preferito scegliere la via più semplice utilizzando la porta Centronics dedicata alla stampante. Questa infatti è una porta parallela, per cui si hanno a disposizione simultaneamente otto linee con i relativi bit. Tutto quello che si deve fare è utilizzare quattro di queste linee, assegnare ciascuna di esse ad una delle bobine del motore passo-passo, e comunicare al calcolatore di inviare l'opportuna sequenza per il controllo del motore. Il controller svolge due funzioni piuttosto semplici:

- agisce come interfaccia di potenza per poter pilotare le bobine, che richiedono una corrente piuttosto elevata, con i livelli di potenza presenti sulle uscite della porta parallela. Ciò si ottiene con i transistor di potenza indicati con le sigle T1-T4.
- agisce da separatore galvanico grazie all'isolamento fornito dai fotoaccoppiatori. Questi componenti isolano completamente la parte di control-

lo, rappresentata dalla porta Centronics e perciò dal computer, dalla parte di potenza, costituita dai transistor e dalle bobine. Essendo poi dotati di fototransistor Darlington, sono in grado di generare direttamente la corrente di base necessaria per i transistor di potenza. Inoltre, eventuali rumori elettrici provocati dal motore, o qualsiasi difetto del controller, non potranno in nessun modo raggiungere l'elaboratore, per cui diventa impossibile un suo danneggiamento causato da questa applicazione. Per questa ragione i fotoaccoppiatori rappresentano un dispositivo semplice, economico e molto utile per il progetto in questione e per qualsiasi altro progetto che presenti le stesse problematiche.

Montaggio

Prima che il lettore decida l'acquisto dei componenti, è opportuno segnalare che i valori delle resistenze relative alla parte controllata dai transistor sono stai scelti per una tensione standard, per cui può essere necessario modificarli leggermente per ottenere delle prestazioni migliori. Se il motore gira, ma non fornisce le prestazioni dovute, si deve modificare il valore delle resistenze finché si trova quello ottimale.
Il circuito stampato è a doppia faccia con fori non metallizzati, per cui alcuni componenti dovranno essere saldati su entrambe le facce. I primi componenti che si devono montare sono le resistenze, ma per le ragioni esposte in precedenza può capitare che la loro installazione non sia quella definitiva. Il connettore DB-25 maschio deve essere montato in modo tale che le sue file di terminali rimangano incastrate nello stampato. Dopo aver saldato tutti i componenti si possono inserire i circuiti integrati dei fotoaccoppiatori nei rispettivi zoccoli.
Al termine delle operazioni di montaggio, bisogna collegare la scheda alla porta parallela del PC con il connettore DB-25. Collegando poi il motore alla scheda, e fornendo l'opportuna alimentazione, il circuito è pronto per subire le prime verifiche.

Controllo del motore

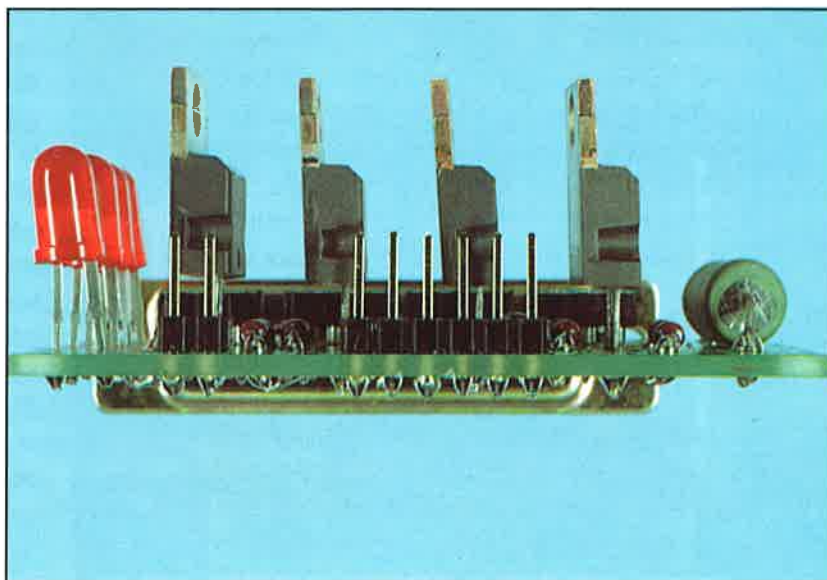
Fare in modo che il calcolatore comunichi con il motore è forse la fase più semplice di questo progetto. Ritornando ancora una volta alla tabella, si può osservare che per ogni passo della sequenza di controllo devono variare le alimentazioni "logiche" delle bobine. Se si pensa a queste combinazioni come digit binari si può verificare che sono necessarie parole di 4 bit. Tutto quello che si deve fare è inviare queste parole alla porta parallela del computer ogni volta che si desidera far ruotare il motore di un passo. Trasformando questa informazione da binaria a decimale, si può notare che la sequenza necessaria per far avanzare il motore di quattro passi è 10-9-5-6; per mantenere il motore in rotazione continua è sufficiente perciò ripetere la stessa sequenza. Realizzare questa operazione è molto facile; il sistema più semplice è quello di inviare questa informazione direttamente all'uscita della stampante tramite un'istruzione scritta in BASIC. Si deve quindi caricare il BASIC e scrivere la seguente istruzione:

OUT 888,10 <RETURN>

Questo comando invia un valore decimale 10 (1010 in binario) alle prime quattro linee della porta parallela. I diodi LED corrispondenti alla prima sequenza di rotazione si illuminano e il motore si muove di un passo. Se ora si scrive l'istruzione:

OUT 888,9 <RETURN>

I foto-accoppiatori rappresentano un utile, economico, e sicuro dispositivo per questo circuito

Il motore viene collegato al circuito tramite i terminali maschi

Elenco componenti

Resistenze

R1 ... R12 = 470 Ω, 1/4 W

R13 = 20 Ω, 5 W

Semiconduttori

IC1 ... IC4 = 4N29 (o fotoDarlington equivalenti)

T1 ... T4 = TIP31 o equivalenti

D1 ... D4 = LED rossi diametro 5 mm

Varie

8 terminali maschi per c.s.

24 terminali torniti per zoccoli

1 connettore DB-25 maschio

1 circuito stampato PC10193V536

la sequenza di accensione dei diodi LED cambia, e il motore avanza sino alla posizione successiva. Per i successivi avanzamenti si devono scrivere le due istruzioni che seguono:

```
OUT 888,5 <RETURN>
OUT 888,6 <RETURN>
```

Se si vuole ottenere un comportamento più "professionale" dal circuito, si consiglia di scrivere un breve programma che controlli il movimento completo del motore:

```
10 OUT 888,10 <RETURN>
20 OUT 888,9 <RETURN>
30 OUT 888,5 <RETURN>
40 OUT 888,6 <RETURN>
50 GOTO 10
```

Per fermare il ciclo continuo del programma si devono premere contemporaneamente i tasti CTRL-BRK. In funzione della velocità del calcolatore utilizzato si possono verificare due situazioni: il motore funziona correttamente, oppure rimane completamente fermo. La ragione di questo comportamento è dovuta al fatto che la velocità alla quale la sequenza dei dati di azionamento viene inviata al motore dipende dalla velocità stessa del calcolatore. Se questi ordini arrivano al motore passo-passo ad una velocità superiore a quella per cui è stato progettato non è in grado di sincronizzarsi con queste istruzioni. Ciò significa che viene persa l'"integrità di passo" di ciascuna istruzione. La cosa peggiore che si può verificare è che il motore si blocchi e cominci a emettere strani rumori. Se ci si trova in questa situazione il programma deve essere modificato introducendo una breve pausa tra ogni singola istruzione di movimento.

```
10 OUT 888,10 <RETURN>
15 GOSUB 100
20 OUT 888,9 <RETURN>
25 GOSUB 100
30 OUT 888,5 <RETURN>
35 GOSUB 100
40 OUT 888,6 <RETURN>
45 GOSUB 100
50 GOTO 10
100 FOR X=1 TO 10
110 NEXT X
120 RETURN
```

Così facendo il programma tra una istruzione di movimento e quella successiva salta alla subroutine presente alla linea 100, che rappresenta un temporizzatore. Variando il valore riportato in questa linea (ad esempio 20 invece di 10), si modifica il tempo di ritardo programmato tra ciascuna istruzione. É possibile migliorare questo programma inserendo all'inizio una richiesta di INPUT, in modo che venga richiesto il verso di rotazione desiderato; per ottenere una rotazione in senso orario si deve fornire la sequenza 10-9-5-6, mentre per ottenere una rotazione antioraria bisogna fornire la sequenza inversa, 6-5-9-10. Con un minimo di fantasia si possono programmare diversi movimenti del motore, simulando la gestione di un robot. Con dieci movimenti diversi, ciascuno con la sua sequenza di controllo e relativo numero di impulsi, è possibile simulare il movimento di apparecchiature diverse, inserire delle pause per eseguire determinate operazioni e, se si desidera, pilotare un carico di una certa consistenza per sperimentare la tecnica "ramping".

Il circuito richiede un'alimentazione esterna, il cui valore dipende dal tipo di motore utilizzato